

KULTÚRNÖVÉNY-FENOLÓGIAI VIZSGÁLATOK A MOSONI-SÍKON

Varga Zoltán

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Víz- és Környezettudományi Tanszék, 9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.
e-mail: varga.zoltan@sze.hu

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A fenológiát szokás hangzatos elnevezésekkel „bolygónk pulzusaként” (www.usanpn.org), „az évszakok ritmusaként” (Morissette et al., 2009), vagy „az évszakok kalendáriumaként” (Stoller, 1956) is emlegetni. A fenológia célja Lieth-nek (1974) a Nemzetközi Biológiai Program (International Biological Program – IBP) keretében megalkotott, s általánosan használt definíciója szerint az ismétlődő biológiai események időbeli alakulásának, az azok időbeliségét okozó biotikus és abiotikus kényszerek törvényszerűségeinek és az azonos vagy eltérő fajok fázisai közötti összefüggéseknek a tanulmányozása. Ezt kicsit pragmatikusabban úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a (fito)fenológia a növények környezeti viszonyoktól függő, szabályszerű egymásutánban bekövetkező jelenségeinek vizsgálatával foglalkozó tudomány (Varga-Haszonits & Varga, 2006). Az a tény, hogy az egymást genetikailag meghatározott sorrendben követő fejlődési jelenségek egymásra következésének sebességét a környezeti – s köztük hangsúlyosan a különösen változékony meteorológiai – tényezők jelentősen befolyásolják, teszi indokolttá és hangsúlyossá a párhuzamos meteorológiai és fenológiai adatgyűjtést és az ezen alapuló agrometeorológiai vizsgálatokat. E párhuzamos adatgyűjtés szükségszerűségét a kvantitatív jellegű agrometeorológiai kutatásban Petr Ivanovics Brounov fogalmazta meg először a XX. század elején.

A fenológiai tudományának története viszont egészen a XVIII. század közepéig nyúlik vissza, amikor Karl von Linné, svéd természettudós felismerte, hogy a környezet befolyással bír a növények elterjedése mellett azok életfolyamataira, s a fejlődés külső megnyilvánulási formáira is (Huzsvai, 2005). Linné szerint a növény fejlődése elkülönülő szakaszokra bontható, melyek kezdetét minden esetben egy új, jól azonosítható szerv előbukkanása jelzi. Az új növényi szerv megjelenésének ideje az egyedfejlődést és a fejlődési ciklusokat is jól jellemezi. Vizsgálatuk csupán rendszeres megfigyelést igényel és bárhol elvégezhető. Linné feljegyzéseket is vezetett a tavaszi olvadás időpontjáról és a legelőbb megjelenő tavaszi növényekről, s arról, hogy azok mikor hozzák termésüket (Hunkár et al., 2011). A fenológiai kutatások elterjedésében jelentős szerepe volt a belga Adolphe Quetelet-nek, aki a XIX század közepén fenológiai útmutatót állított össze és kiterjedt hálózatot szervezett a „periodikus jelenségek megfigyelésére”. Tanítványa, a francia Charles Morren továbbfejlesztette a megfigyelési szempontrendszert. Tőle származik a fenológia elnevezés is (Varga-Haszonits & Varga, 2001). A fenológia görög eredetű kifejezés, a „phainestai” (jelenség) és a „logos” (tan, tudomány) szavak összetételével keletkezett. Nem a legkifejezőbb elnevezés, de gyorsan elterjedt (Varga-Haszonits, 1973).

Magyarországon először annak a Kitaibel Pálnak a munkássága mutatja a fenológiai szemlélet iránti fogékonyságot a XVIII. század második felében, aki botanikai terepmunkái során végzett ilyen jellegű adatgyűjtést is. Kitaibel nemcsak följegyezte az egyes fajok virítási idejét, időtartamát, hanem a fajok között és fajon belül az eltérő termőhely szerint összehasonlításokat is tett. A növények fenológiai különbségeiből az élőhelyek eltérő időjárására, illetve éghajlati adottságaira következtetett (Both, 2009). Sajnálatos módon a gazdasági növények fenológiai adatainak országos feltérképezése céljából közzétett fel-

hívása nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket (Hunkár et al., 2011), ezért a rendszeres, hálózatszerű fenológiai észlelések csak évtizedekkel később indultak meg hazánkban. Ezek története Varga-Haszonits & Varga (2001) és Hunkár et al. (2011) alapján foglalható jól össze.

Az Osztrák-Magyar Monarchia hálózatszerű fenológiai megfigyelései 1851-ben kezdődtek. Magyarország területén 40 állomás működött, s végzett rendszeres megfigyeléseket mintegy 20 éven keresztül. 1871-ben, a Magyar Királyi Meteorológiai és Földdelejtességi Intézet megalakulása után Staub Mór főreáliskolai tanár szervezte meg az első önálló hazai fenológiai hálózatot (több mint félszáz észlelőhellyel), ő készítette az első magyar nyelvű megfigyelési útmutatót, s ő szerkesztette meg Magyarország első fenológiai térképét is. A múlt század vége felé a Délmagyarországi Természettudományi Társulat is szervezett fenológiai megfigyeléseket mind a vadontermő, mind pedig a gazdasági növények megfigyelésére. Ez a hálózat 1910-től az egész Alföldre kiterjedt a Magyar Földrajzi Társaság Alföldi Bizottsága koordináló munkájának köszönhetően. A hálózat működését Hegyfok Kabos irányította egészen 1919-ben bekövetkezett haláláig. Utána a hálózatot a Meteorológiai Intézet vette át, s ott a 60 körüli állomással az 1930-as évek végéig működött, miközben 15 kiemelt állomás adatai nemzetközi kiadványban is megjelentek. 1951-től Fáthy Ferenc az egész országra kiterjedő fenológiai megfigyeléseket szervezett egy agrometeorológiai információkat biztosító szolgálat létrehozása érdekében. Ugyanakkor a hálózatban túlnyomórészt a vadon termő növények megfigyelését végezték több száz helyen – főként – a csapadékmérő állomások észlelői. A mezőgazdasági növények megfigyelését 13 helyen, mezőgazdasági kutatóintézetekben, fajtakísérleti állomásokon kezdték meg. 1965-től újjászerveződött a gazdasági növények fenológiai megfigyelése: 34 növényfaj megfigyelése történt 80 helyen, s 1967-ben – Varga-Haszonits Zoltán által publikált – megfigyelési útmutató jelent meg az észlelői munka támogatására. 1982-től a hálózat 2001-es felszámolásáig növényvédő szakemberek bevonásával biztosították az észlelések szakmai hitelességét. Szerencsétlen módon az évtizedek során megfigyelt adatok nem váltak részévé az Országos Meteorológiai Szolgálat számítógépes adatbázisának, így jelentős részük nem vált hozzáférhetővé.

Említést érdemel, hogy miközben nagy igény lenne hosszú fenológiai adatsorokra az éghajlatingadozás biológiai hatásainak számszerűsítése, s közvetve az éghajlati változékonyság (Kalb, 1962) és az éghajlatváltozás (Aono & Kazui, 2008) alakulásának tanulmányozása céljából, a rendelkezésre álló homogén adatsorok hossza csak ritkán haladja meg az egy-két évtizedet. Ellenpéldaként szolgálhat, hogy Genfben a XIX. század eleje óta folyamatosan végeznek észleléseket a gesztenye lombosodásának kezdeti időpontjára vonatkozóan, s ezt Lauscher & Lauscher (1981) a hőmérsékletváltozás trendjének vizsgálatára is felhasználták. Az ismert amerikai író és filozófus, Henry David Thoreau kiterjedt feljegyzéseket hagyott maga után fenológiai megfigyeléseiről (Miller-Rushing & Primack, 2008).

Aono & Kazui (2008) a Japánban tradicionálisan kultikus jelentőséggel bíró, s ezért Kiotóban különböző formában több mint egy évezrede dokumentált japáncseresznye virágzás időpontját rekonstruálták az i.sz. 801–2005 közötti időszakra vonatkozóan. Korábbi kutatási eredményekre támaszkodva és korabeli naplók, krónikák, költemények és újságcikkek adatait is felhasználva a kérdéses időszak éveinek több mint 60%-ára számszerűen előállították a márciusi-áprilisi közepi cseresznyevirágzás időpontját, s az így nyert adatbázis alapján elemezték a területre jellemző éghajlatingadozásokat. Chmielewski et al. (2004) több gyümölcsöt (alma, cseresznye) és szántóföldi növényt (rozs, cukorrépa kukorica) vizsgálva a fenológiai adataikban jelentkező változási trendeket úgy tekintették, mint az 1980-as évek eleje óta kibontakozó éghajlatváltozás indikátorait. Rosenzweig et al. (2007) arra következtettek kiterjedt elemzéseik alapján, hogy a fenológia talán a leg-

egyszerűbb folyamat, mellyel a fajok éghajlatváltozásra adott válaszreakciói vizsgálhatóvá válnak.

Hasonló szemlélettel szeretném bemutatni a következőkben a Mosoni-síkra vonatkozó eredményeinket, amelyek jelentőségét fokozza az a tény, hogy az éghajlati rendszer változásának hatását elemző fenológiai vizsgálatokat általában vadon termő növényekre vonatkozóan szokták végezni, s az irodalomban lényegesen ritkábban lehet gazdasági növényekre fókuszáló, ilyen jellegű kutatásokkal találkozni.

Anyag és módszer

Az általunk végzett szántóföldi kísérletek helyszíne a Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karának mosonmagyaróvári növénytermesztési kísérleti telepe volt. A hazánkban termesztett kukorica hibridválaszték döntően a középkorai- (FAO 300–399) és a középérésű (FAO 400–499) csoportba tartozik, ezért a vizsgálatba bevont állományokat is rendre ezekből az éréscsoportokból választottuk. A meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat és a mosonmagyaróvári kar által közösen üzemeltetett, a kukorica állományok néhány száz méteres körzetében található hivatalos meteorológiai állomás mérte.

A párhuzamos fenológiai és meteorológiai adatgyűjtés az 1997–2013-as időszakban folyt. A középkorai éréscsoport esetén egy évvel később indultak a vizsgálatok. Pár éves kényszerű szünet után 2017-től újrakezdtük az ilyen jellegű adatgyűjtést, de ennek eredményeit most nem közöljük.

A kukoricatermesztést jellemző gyors fajtarotáció miatt nem tudtuk hosszabb ideig ugyanazokat a hibrideket használni, de arra nagy súlyt fektettünk, hogy az egymást váltó hibridek érésideje (ún. FAO száma) ne térjen el lényegesen. A mezőgazdasági kultúrnövények fenológiai vizsgálatokor ugyanis fontos annak tisztázása, hogy a fajták közötti különbségek mekkora szerepet játszanak a fenológiai jelenségek eltérő időpontjaiban. Ha ezek a különbségek nagyok, akkor az egyes fajtákat külön kell vizsgálni; ha viszont nem jelentősek az eltérések, akkor ettől eltekinthetünk, s általánosságban az adott faj fenológiai eseményeiről beszélhetünk. A hibridek megválasztásával ez utóbbira törekedtünk.

Az alkalmazott hibridek az alábbiak voltak: középkorai érésű hibridek: 1998–2004: Asgrow 043, 2005: Cisco, 2006–2011: LG-3362, 2012–2013: LG-3350; középérésű hibridek: 1997–1999: Mv-444, 2000: Dekalb545, 2001–2004: Dekalb471, 2005: Occitan, 2006–2013: LG-3475.

A kukorica vegetációs periódusát a kezdeti fejlődés (a vetéstől a kelésig terjedő időintervallum), a vegetatív fejlődés (a keléstől a címerhányásig terjedő periódus) és a generatív fejlődés (a címerhányástól az érésig terjedő periódus) időszakára felosztva végeztük az adatgyűjtést és az adatok elemzését, melyeknek – terjedelmi okokból – ezúttal csak egy rendkívül tömör összegzésére van lehetőség. Említést érdemel, hogy ismeretesek a kukorica vegetációs periódusának az itt használatnál lényegesen részletesebb felosztásai (Zadoks skála – Zadoks et al., 1974, BBCH-skála – Weber & Bleiholder, 1990, Lancashire et al., 1991), de esetünkben – mint ahogyan az ilyen jellegű vizsgálatok esetében általában – nem látszott indokoltnak azok használata.

A kutatáshoz használt adatbázis a következő adatokat tartalmazta a két vizsgált kukorica éréscsoport esetén:

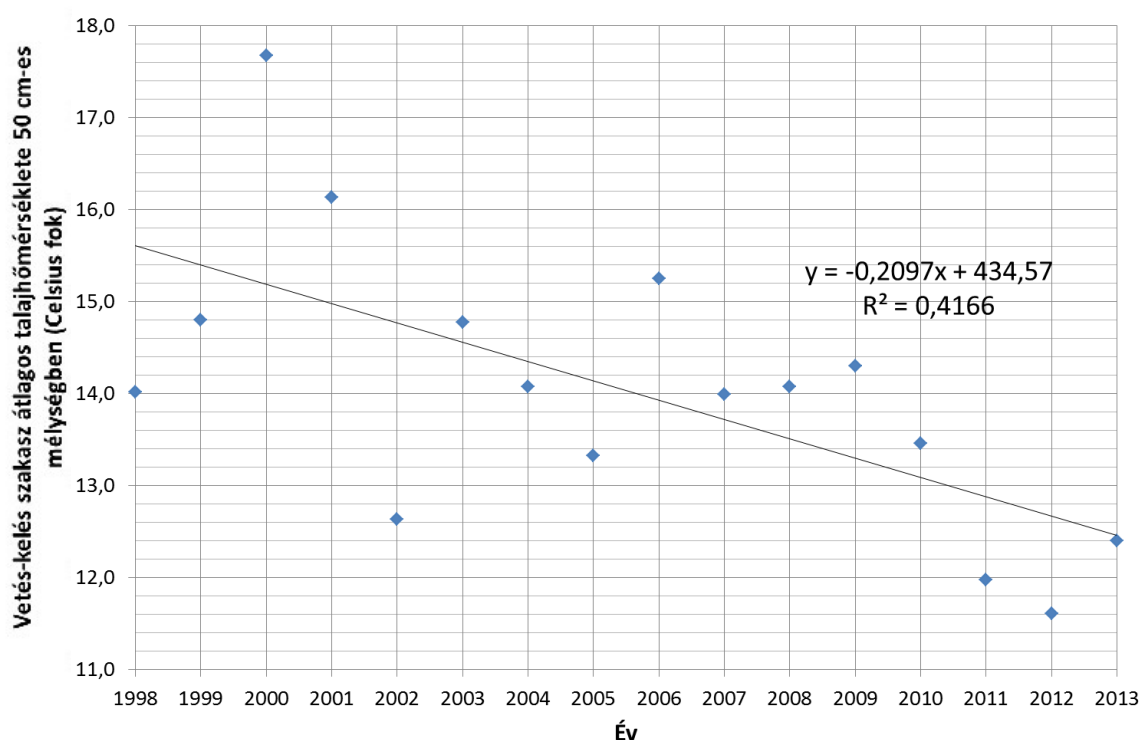
- a már említett fenológiai jelenségek bekövetkezési időpontja,
- ebből származtatva a főbb fejlődési szakaszok hossza, illetve ezek reciprokaként kalkulálva az adott szakaszokra jellemző átlagos napi fejlődési ütem,
- az e szakaszokat jellemző alábbi meteorológiai értékek: átlagos léghőmérséklet, aktív hőmérsékleti összeg, napi minimumhőmérsékletek átlaga, napi maximumhőmérsékletek

átlag, átlagos talajhőmérséklet 5, 10, 20, 50 és 100 cm-es mélységben, napfénytartam összeg, átlagos relatív nedvesség, csapadékösszeg.

Az adatbázis kialakítását követően összefüggésvizsgálatok segítségével elemeztük az alapvető fenológiai mutatók, illetve az egyes fenológiai szakaszok alatti meteorológiai viszonyok időbeli alakulását. Vizsgáltuk továbbá a fenofázisok alatti meteorológiai viszonyoknak a középkorai- és középérésű kukoricahibridek fejlődésére gyakorolt hatását is.

Eredmények és következtetések

A kapott eredményeink az alábbiak szerint összegezhetők. A kukorica fenológiai jellemzői, illetve az egyes fenológiai szakaszok alatti meteorológiai viszonyok időbeli alakulásának vonatkozásban a középkorai éréscsoportra az 1998–2013-as időszakban inkább csak változási tendenciákat tudtunk feljegyezni. Mindössze a kezdeti fejlődési időszak 50 cm-es talajhőmérsékletének és – érdekes módon – a vegetatív időszak csapadékának változási mértéke bizonyult erősen (1, illetve 2%-os szinten), illetve a kezdeti fejlődési időszak 10 cm-es, 20 cm-es és 100 cm-es talajhőmérsékletének és a vegetatív időszak 50 cm-es talajhőmérsékletének változási mértéke bizonyult gyengén – mindössze 5–10%-os szinten – szignifikánsnak (1. ábra).



1. ábra: Az 50 cm-es talajhőmérsékletnek a középkorai kukoricahibridek kezdeti fejlődési időszaka alatti változása (1998–2013).

Az ábrán látható, 50 cm-es talajmélységben tapasztalt erőteljes hőmérsékletcsökkenési tendencia főként a vetés-kelés időszak – igaz, csak tendenciaszerű, a szignifikancia határát súroló – korábbra tolódásával magyarázható. A középérésű csoportra az 1997–2013-as időszakban mindössze a kezdeti fejlődési időszak 10, 20 és 50 cm-es talajhőmérsékletének változási mértéke bizonyult gyengén – 10 %-os szinten – szignifikánsnak, valamint a vetés időpontja tolódott előbbre gyenge szignifikanciával. Elmondható tehát, hogy az ezred-

fordulót követő években az éghajlatváltozás hatását tükröző változások – főként a növények fejlődésének kezdetekor – már észlelhetők, de még nem jelentősek.

A következő lépésben vizsgáltuk a fenofázisok alatti meteorológiai viszonyoknak a középkorai- és középérésű kukoricahibridek fázistartamára és fejlődési ütemére gyakorolt hatását is. A szignifikánsnak bizonyult összefüggéseket az *1.a-b táblázat* foglalja össze, valamint a 2–3. *ábra* szemlélteti. Összefoglalva a kapott eredményeket elmondható, hogy a meteorológiai elemek alakulása a tenyészidőszak kezdeti szakaszában befolyásolta leginkább a középkorai érésű kukorica fejlődését, míg a tenyészidőszak kezdeti és főként a generatív szakaszában volt nagyobb hatással a középérésű hibridek fejlődésére, viszont a vegetatív szakaszban ezek hatása mindkét éréscsoport esetén gyengébbnek bizonyult. A meteorológiai elemek vonatkozásában főként a hőmérsékleti összeg (2. *ábra*) és a napfénytartam (3. *ábra*) fejlődést befolyásoló szerepe emelkedett ki – éréscsoporttól függetlenül. A vizsgált higrikus elemek hatása lényegében elhanyagolható volt.

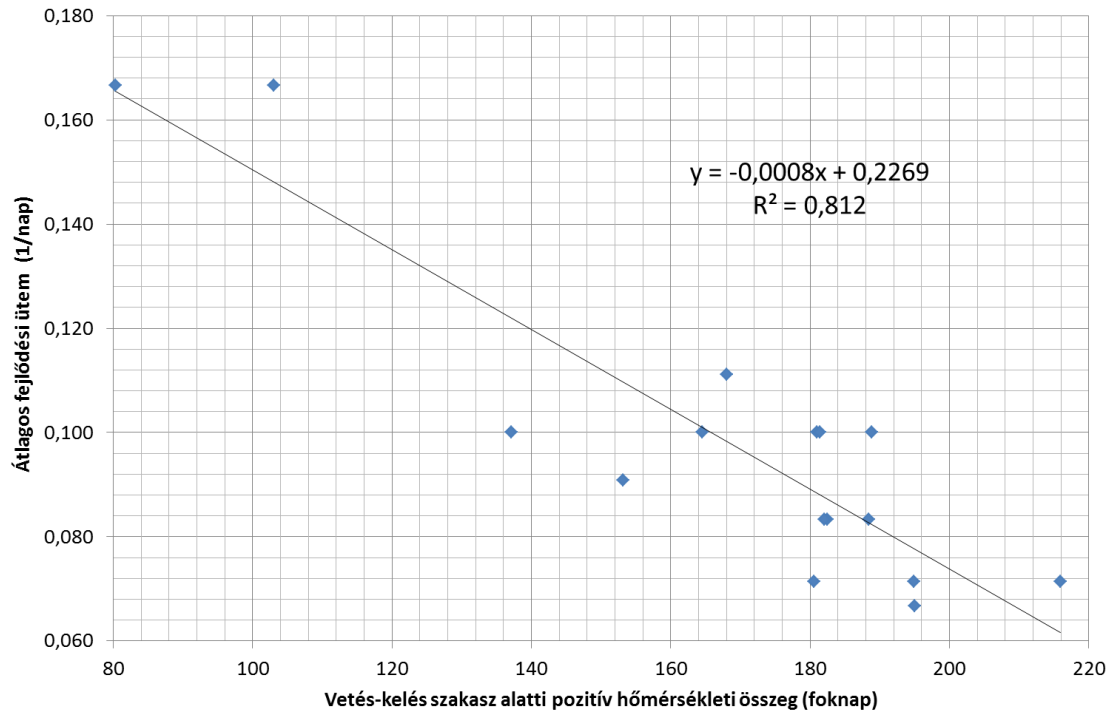
1.a táblázat: Meteorológiai viszonyok hatása a vizsgált kukorica éréscsoportok fejlődésére a különböző fenofázisokban (1997/1998–2013).

Éréscsoport	Változók	Fenofázis	Szignifikancia
középkorai	átlaghőmérséklet-fázistartam	vetés-kelés	10%
középkorai	maximumhőmérséklet-fázistartam	vetés-kelés	10%
középkorai	5 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	vetés-kelés	10%
középkorai	10 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	vetés-kelés	5%
középkorai	50 cm-es talajhőmérséklet-fejlődési ütem	kelés-címerhányás	10%
középkorai	50 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	kelés-címerhányás	10%
középkorai	100 cm-es talajhőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	10%
középkorai	100 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	10%
középkorai	aktív hőmérsékleti összeg-fejlődési ütem	vetés-kelés	0,1%
középkorai	aktív hőmérsékleti összeg-fejlődési ütem	kelés-címerhányás	0,1%
középkorai	aktív hőmérsékleti összeg-fejlődési ütem	címerhányás-érés	0,1%
középkorai	aktív hőmérsékleti összeg-fázistartam	vetés-kelés	0,1%
középkorai	aktív hőmérsékleti összeg-fázistartam	kelés-címerhányás	0,1%
középkorai	aktív hőmérsékleti összeg-fázistartam	címerhányás-érés	0,1%
középkorai	napfénytartam-fejlődési ütem	vetés-kelés	0,1%
középkorai	napfénytartam-fejlődési ütem	kelés-címerhányás	10%
középkorai	napfénytartam-fejlődési ütem	címerhányás-érés	5%
középkorai	napfénytartam-fázistartam	vetés-kelés	1%
középkorai	napfénytartam-fázistartam	kelés-címerhányás	10%
középkorai	napfénytartam-fázistartam	címerhányás-érés	5%

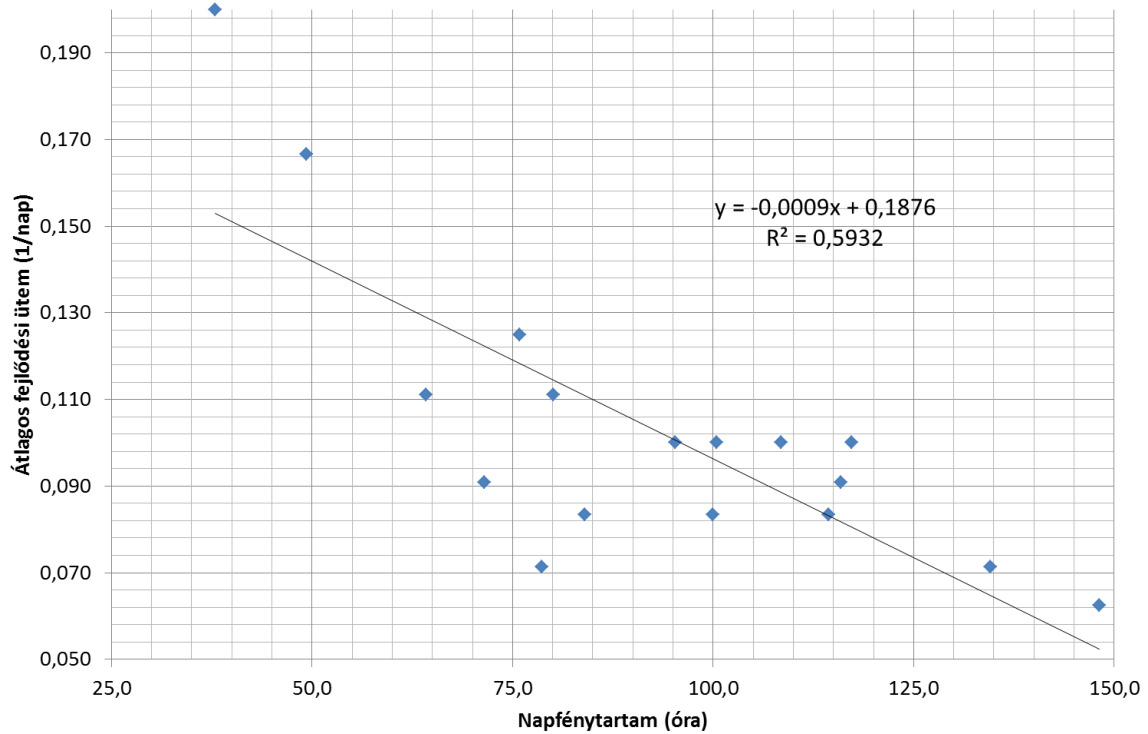
1.b táblázat: Meteorológiai viszonyok hatása a vizsgált kukorica éréscsoportok fejlődésére a különböző fenofázisokban (1997/1998–2013).

Éréscsoport	Változók	Fenofázis	Szignifikancia
közép	átlaghőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	10%
közép	átlaghőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	10%
közép	minimumhőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	10%
közép	minimumhőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	5%
közép	csapadék-fázistartam	vetés-keles	10%
közép	5 cm-es talajhőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	1%
közép	5 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	1%
közép	10 cm-es talajhőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	1%
közép	10 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	1%
közép	20 cm-es talajhőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	1%
közép	20 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	1%
közép	50 cm-es talajhőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	1%
közép	50 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	1%
közép	100 cm-es talajhőmérséklet-fejlődési ütem	címerhányás-érés	1%
közép	100 cm-es talajhőmérséklet-fázistartam	címerhányás-érés	1%
közép	aktív hőmérsékleti összeg-fejlődési ütem	vetés-keles	0,1%
közép	aktív hőmérsékleti összeg-fázistartam	vetés-keles	0,1%
közép	aktív hőmérsékleti összeg-fejlődési ütem	keles-címerhányás	0,1%
közép	aktív hőmérsékleti összeg-fázistartam	keles-címerhányás	0,1%
közép	aktív hőmérsékleti összeg-fejlődési ütem	címerhányás-érés	0,1%
közép	aktív hőmérsékleti összeg-fázistartam	címerhányás-érés	0,1%
közép	napfénytartam-fejlődési ütem	vetés-keles	0,1%
közép	napfénytartam-fázistartam	vetés-keles	0,1%
közép	napfénytartam-fejlődési ütem	címerhányás-érés	1%
közép	napfénytartam-fázistartam	címerhányás-érés	1%

Kapott eredményeink jó egyezésben vannak a szakirodalomban található, más területek kukoricaállományainak fenológiai viszonyaira vonatkozó megállapításokkal (pl.: Abbas et al., 2017., Lizaso et al., 2018, Tao et al., 2006, Wang et al., 2015).



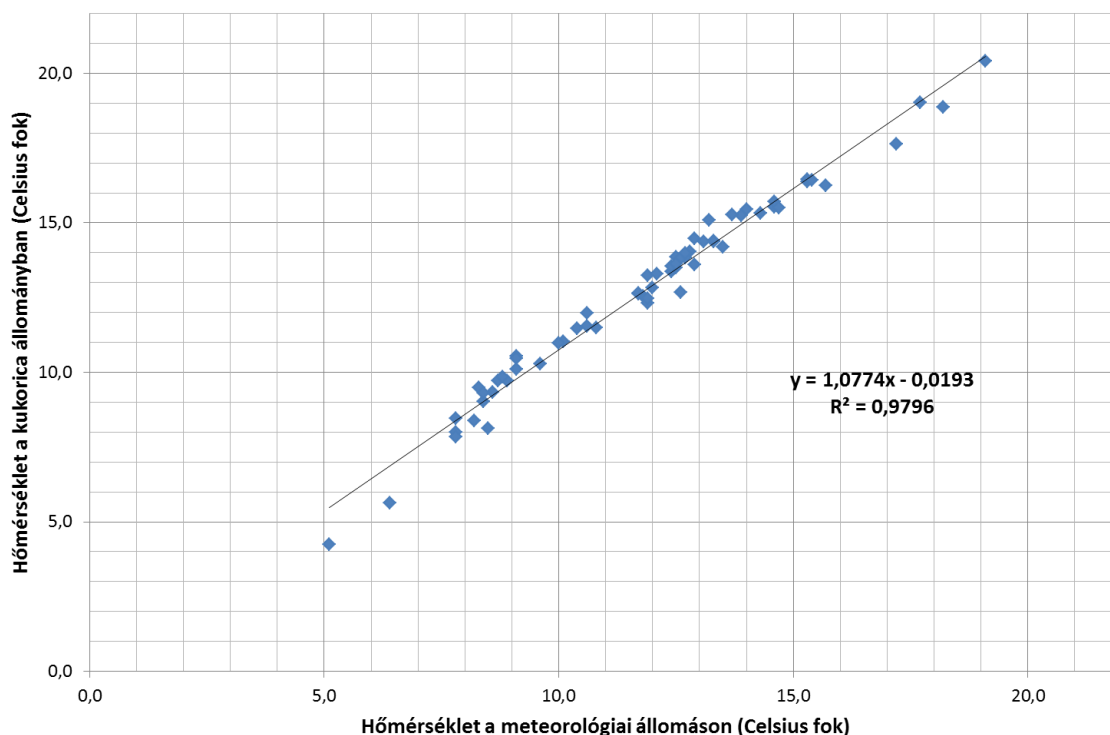
2. ábra: A hőmérsékleti összeg fejlődési ütemre gyakorolt hatása a középkorai érésű hibridek vetés-kelés szakaszában (1998–2013).



3. ábra: A napfénytartam fejlődési ütemre gyakorolt hatása a középerésű hibridek vetés-kelés szakaszában (1997–2013).

A további kutatási irányokat illetően az alábbi célkitűzések fogalmazhatók meg.
 (1) Ahogyan azt említettem, az itt bemutatottakon kívül rendelkezésre állnak már a 2017-es és részben a 2018-as kukorica tenyésztéskor jellemző meteorológiai és fenológiai

adatok is. Az adatsorok hosszának növekedésével még megalapozottabb megállapítások tehetők az itt tárgyalt kérdésekben; arról nem is beszélve, hogy a jelen éghajlatváltozás trendjei még inkább indokoltá teszik az adatgyűjtés és elemzés időbeli kiterjesztését. (2) A most ismertetett eredményeink alapjául – meteorológiai oldalról – a hivatalos meteorológiai állomás növényállományon kívül mért adatai szolgáltak. Az évek némelyikében lehetőségünk adódott egy, a növények közé telepített mobil meteorológiai állomás segítségével a kukorica tenyészidőszak mikroklimatikus viszonyait jellemző adatokat is gyűjteni. Bár eddigi elemzéseink alapján jó összefüggést találtunk a makro- és mikroklimát jellemző meteorológiai adatsorok között (pl. 4. ábra), célszerűnek látszik a kukorica-állományban mért meteorológiai adatok és a kukorica fejlődése közötti kapcsolatot is számszerűsíteni. (3) Az elmúlt kb. két évtizedben rendszeresen gyűjtöttük a bemutatott hibridek növekedését (állománymagasság, levélfelület, szárazanyag) és produktivitását (termésmennyiség és -minőség) jellemző adatokat is. Ezek meteorológiai viszonyokkal és a fejlődéssel való összefüggésének elemzése szintén perspektivikus területnek látszik. (4) Távolati céljaink között szerepel továbbá a nemzetközi fenológiai modellek (pl. APSIM-Maize, CERES-Maize, Wang-Engel modell) tesztelése és régiókra adaptálása hosszú mérési adatsoraink alapján.



4. ábra: A két helyszínen mért, 5 cm-es talajhőmérsékleti értékek kapcsolata 2017 őszén.

Hivatkozások

Abbas, G., Ahmad, S., Ahmad, A., Nasim, W., Fatima, Z., Hussain, S., Rehman, M.H., Khan, Hasanuzzaman, M., Fahad, S., Boote, K.J., Hoogenboom, G., 2017: Quantification the impacts of climate change and crop management on phenology of maize-based cropping system in Punjab, Pakistan. *Agric. Forest Meteorol.*, 247: 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.012>

- Aono, Y., Kazui, K., 2008: Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *Int. J. Climatol.*, 28: 905–914. <https://doi.org/10.1002/joc.1594>
- Both, M., 2009: Kitaibel Pál földtudományi munkássága, különös tekintettel a Kárpát-medence tájhasználatának leírására. Doktori (PhD) értekezés, Miskolci Egyetem. 130p.
- Chmielewski, F.-M., Müller, A., Bruns, E., 2004: Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agric. Forest Meteorol.*, 121: 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00161-8)
- Hunkár, M., Vincze, E., Szenyán, I., Dunkel, Z., 2011: A fenológiai megfigyelés szerepe és jelentősége az agrometeorológiai modellezésben és a klímaváltozás kutatásában. Meteorológiai Tudományos Napok. Budapest, 2011. november 24–25. (http://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2011/05_Hunkar.pdf)
- Huzsvai, L., 2005: Az agroökológia modellezéstechnikája. (<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/agrookologia/ch04s02.html>)
- Kalb, M., 1962: Einige Beiträge zum Stadtklima von Köln. *Meteorologische Rundschau*, 15: 92–99.
- Lancashire, P.D., Bleiholder, H., Langeluddecke, P., Stauss, R., van den Boom, T., Weber, E., Witzsen-Berger, A., 1991: A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.*, 119(3): 561–601. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb04895.x>.
- Lauscher, A., Lauscher, F., 1981: Vom Einfluß der Temperatur auf die Belaubung der Roßkastanie nach den Beobachtungen in Genf seit 1808. *Wetter Leben*, 33: 103–112.
- Lieth, H., 1974. Phenology and Seasonality Modeling. Springer Verlag, Berlin, 444p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8>
- Lizaso, J.I., Ruiz-Ramos, M., Rodríguez, L., Gabaldon-Leal, C., Oliveira, J.A., Lorite, I.J., Sánchez, D., García, E., Rodríguez, A., 2018: Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field Crops Research*, 216: 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>
- Miller-Rushing, A.J., Primack, R.B., 2008: Global warming and flowering times in Thoreau's concord: a community perspective. *Ecology*, 89: 332–341. <https://doi.org/10.1890/07-0068.1>
- Morissette, J.T., Richardson, A.D., Knapp, A.K., Fisher, J.I., Graham, E.A., Abatzoglou, J., Wilson, B.E., Breshears, D.D., Henebry, G.M., Hanes, J.M., Liang, L., 2009: Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phenological research in the 21st century. *Front. Ecol. Environ.*, 7: 253–260. <https://doi.org/10.1890/070217>
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B., Tryjanowski, P., 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge UP, Cambridge, UK, 79–131.
- Stoller, L., 1956: A note on Thoreau's place in the history of phenology. *Isis*, 47: 172–181. <https://doi.org/10.1086/348484>
- Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y., Zhang, Z., 2006: Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. *Agric. Forest Meteorol.*, 138(1–4): 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.014>
- Varga-Haszonits, Z., 1973: A növényfenológiai megfigyelések és feldolgozások módszerei. Beszámolók az 1970-ben végzett tudományos kutatásokról. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 81–87.

- Varga-Haszonits, Z., Varga, Z., 2001: Fitometeorológia (A légkör és a növényvilág). Oktatási segédanyag, Nyugat-Magyarországi Egyetem. Mosonmagyaróvár.*
- Varga-Haszonits, Z., Varga, Z., 2006: Agrometeorológiai gyakorlatok. Egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem. Mosonmagyaróvár.*
- Wang, N., Wang, J., Wang, E., Yu, Q., Shi, Y., He, D., 2015: Increased uncertainty in simulated maize phenology with more frequent supra-optimal temperature under climate warming. Eur. J. Agron., 71: 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.08.005>*
- Weber, E., Bleiholder, H., 1990: Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse - mit Abbildungen. Gesunde Pflanzen, 42: 308–321.*
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974: A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research, 14: 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>*
- www.usanpn.org*